

炭素繊維複合材料 CFRP

◎炭素繊維について

◎炭素繊維(CF)の特長

- ・軽量 (比重は鉄の1/4)
- ・強い (比強度は鉄の10倍、比弾性は鉄の7倍)
- ・疲労特性に優れ、錆びない。
- ・化学的、熱的に安定、寸法安定性低、線膨張係数
- ・電磁波シールド性、X線透過性に優れる。

◎炭素繊維(CF)の供給形態

- ・糸…長繊維 (フィラメント集合体のトウ (左表) として供給)
短繊維 (カットファイバー/3~25mm長), ミルドファイバ
- ・クロス (織物) …平織、綾織、一方向、NCF(Non-Crimp Fabrics)
- ・プリプレグ … エポキシ系, 熱可塑性樹脂系(PP, PA6, PEEK等)
- ・ペレット … 長繊維, 短繊維

◎炭素繊維複合材料(CFRP)について

◎成形方法の分類

区分	樹脂	繊維	成形法	力学特性	生産性
熱硬化性 CFRTPS	エポキシ	連続繊維	FW (フィラメントワインディング)法	○~◎	× (3~5 h)
			オートクレープ法(ハンドレアップ)	○~◎	× (2~4 h)
			オートクレープ法(プリプレグ)	○~◎	× (2~4 h)
			プレス法 (PCM法/プリプレグ)	○~◎	△ (5~10min)
			RFI法(Resin Film infusion)	○~◎	△
			RTM法(Resin Transfer Molding)	○~◎	△ (7~90min)
			VaRTM法	○~◎	× (4 h)
熱可塑性 CFRTP	ビニル エステル	短繊維	チョップド 25~100mm	SMC	△ ○ (5 min)
		連続繊維	一方向織物(平織, 綾織),多軸基材	プレス成形	△~○ ◎ (1~3 min)
			ロービング	LFT-D (Long Fiber thermoplastic-Direct)	△ (?) ○~◎ (?)
			チョップド 25~100mm	プレス成形	×~△ ◎ (1 min)
			チョップド 25~100mm	射出成形	× ◎ (40 sec)
			PP PA PBT PEEK		

◎CFRPの力学特性について

◎複合材料の強度・弾性率発現

複合材料の強度は、界面と母材を媒体とした繊維間の応力伝達により、より多くの繊維が有効に負荷を担い、強度発現に寄与し繊維(フィラメント)単体の破壊強度より高くなります。

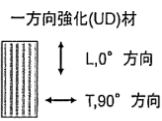
- ・複合材の巨視的物性(強度, 弾性率) = 複合則の適用
- ・繊維方向ヤング率は…Voigt則

$$\sigma_c = \sigma_f V_f + \sigma_m V_m \quad E_c = E_f V_f + E_m V_m$$

σ_c : 複合材の応力, E_c : 複合材の弾性率,
 V_f, V_m : 繊維、母材の体積割合

- ・繊維垂直方向のヤング率は…Reuss則

$$1/E_c = V_f/E_f + (1-V_f)/E_m$$

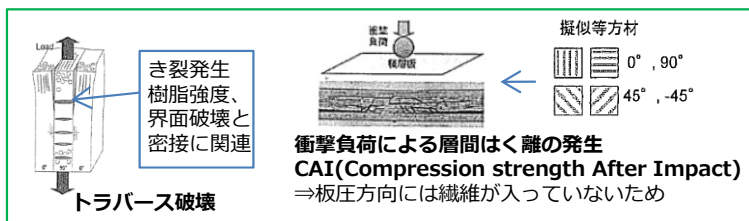


◎複合材料の異方性

一方向 (UD) 強化材の特性は、繊維方向と荷重方向で大きく異なる。

- ・0° 引張強度…繊維強度の上昇とともに増大 (繊維強度支配)
- ・せん断強度…樹脂のせん断強度 (樹脂、界面支配)
- ・90° 引張強度…母材樹脂より弱い (樹脂、界面支配) ⇒ もとの素材より悪い
- ・0° 圧縮強度…繊維のせん断座屈 (樹脂の弾性率+降伏強度)

基本的に繊維の優れた特性(強度,弾性率)が発現するのは繊維方向のみ



衝撃負荷による層間はく離の発生
CAI(Compression strength After Impact)
⇒板圧方向には繊維が入っていないため

樹脂の強靱化・層間接着力の向上が鍵 ⇒ インターレイヤー(PA, PESパウダー分散)ステッチング法(面外方向)

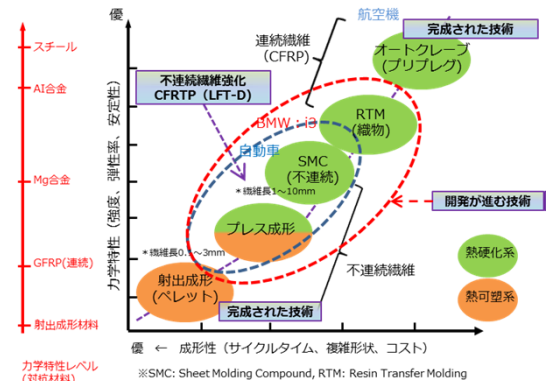
◎原料による分類

- ・PAN系炭素繊維…PANプリカーサ(ポリアクリロニトリル繊維)の炭化により得られる。
2017年の生産能力は約12万tあり、今後も高い需要が見込まれる(単繊維径は5~7μm)。
- ・ピッチ系炭素繊維…ピッチプリカーサー(コールタールまたは石油重質分を原料として得られるピッチ繊維)を炭素化して得られる。高剛性用途のほか、優れた熱伝導率や導電性を生かして様々な用途に使われている

◎フィラメント数による分類

	レギュラートウ(RT)	ラージトウ (LT)
フィラメント数	24,000本(24K)以下	40,000本(40K)以上
特徴	機械的特性に優れる高品位(毛羽,取扱い性)	RTに比べて機械的特性・品位が劣る低コスト
原料	炭素繊維用特殊アクリル繊維	衣料用汎用アクリル繊維
用途	航空機、スポーツレジャー、工業用途	汎用工業用途

◎成形方法と力学特性の関係



脱オートクレープ成形法の開発

- ①真空成形用プリプレグ+オープン硬化…プレス法(RFI法)
 - ②プリフォーム+リキッドモールド成形…RTM法, VaRTM法, A-VaRTM
- ⇒従来RTM法の改良(成形性と生産性)として、新たな樹脂処方の開発と繊維改良、プロセス改善が進む。

不連続繊維を用いた高強度品の開発

- ①従来の射出成形よりも長い繊維と熱可塑性樹脂を混練して高速プレスによりCFRTPとする方法…LFT-D法
 - ②連続繊維に熱可塑性樹脂が含浸されたテープを用いる方法 (シートスタッキング法)
- ⇒射出成形ペレットとオートクレープ法の間を埋める材料
高い生産性を維持しつつ熱硬化系の物性に近づけた材料

◎CFRPに関連したDJKの受託業務

◎マトリックス樹脂の評価・改質検討

- ・エポキシ樹脂(含浸性、硬化性、硬化樹脂物性、処方検討)
- ・熱可塑性樹脂(流動性、含浸性、樹脂物性、樹脂改質)

◎プリプレグ・複合材の試作・改良検討

- ・含浸・積層条件(真空プレス)
- ・層間接着、靱性向上

◎複合材の評価試験

- ・力学特性 (引張、圧縮、曲げ、せん断、衝撃)
- ・組成 (CF含有率、マトリックス樹脂分析、残存繊維長)
- ・耐久性(熱老化性、ヒートサイクル、疲労特性)
- ・他材料との接着性(接着接合、インサート成形)

・引張試験 (0°,90°)…
JIS K7164(等方性・直交異方性)
JIS K7165(一方向材)

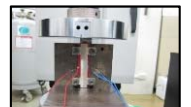


試験片準備 (疑似等方材)



破断後の試験片

・圧縮試験 (0°,90°)…
JIS K7018, JIS K7076
(ジグ: キの字形, IITR形)



キの字形ジグを装着した試料